



Universitat d'Alacant
Universidad de Alicante

Innovaciones metodológicas en docencia universitaria: resultados de investigación

Coordinadores

José Daniel Álvarez Teruel

Salvador Grau Company

María Teresa Tortosa Ybáñez

Coordinadores
José Daniel Álvarez Teruel
Salvador Grau Company
María Teresa Tortosa Ybáñez

© Del texto: los autores. 2016
© De esta edición:
Universidad de Alicante
Vicerrectorado de Estudios, Formación y Calidad
Instituto de Ciencias de la Educación (ICE), 2016

ISBN: 978-84-608-4181-4

Revisión y maquetación:
Salvador Grau Company
Daniel Gallego Hernández

116. Desarrollo de software con paquetes CAD para las asignaturas de Control de Grado y Master de Ingeniería Química

*M. H. Fernández Varó; M. Pérez Molina; F. J. Gil Chica;
G. Vásconez Viteri; M. Pérez Polo*

Departamento de Óptica, Farmacología y Anatomía
Departamento de Física, Ingeniería de Sistemas y Teoría de la Señal
Universidad de Alicante

RESUMEN. En este trabajo se aborda el desarrollo de software con paquetes de diseño asistido por ordenador (CAD) usando los programas CC (Comprehensive Control) y Matlab (Matrix Laboratory) como estrategia metodológica para la mejora del proceso de enseñanza-aprendizaje en las asignaturas de Control del Grado y del Master en Ingeniería Química. El programa CC se plantea como una herramienta idónea para el aprendizaje de los conceptos matemáticos de naturaleza algebraica sobre los que se sustentan las técnicas de control aplicadas a procesos químicos. Sin embargo, a la hora de aplicar técnicas avanzadas de control se puede requerir el diseño de algoritmos más complejos que trascienden de las capacidades algebraicas de CC. Por este motivo se pretende también que el estudiante se familiarice con Matlab como una herramienta software orientada al desarrollo de algoritmos complejos, que en última instancia permiten profundizar en la esencia de los conceptos del control aplicados a procesos químicos reales. En base a este planteamiento se analizan algunos ejemplos de desarrollos software en CC y en Matlab en las asignaturas de Control de Procesos y de Control e Instrumentación, así como el efecto positivo de dicha metodología sobre la motivación y los resultados de la evaluación del alumnado.

Palabras clave: control de procesos químicos, comprehensive control, matlab, ingeniería química, metodologías docentes.

1. INTRODUCCIÓN

El Control es una rama interdisciplinar de las matemáticas que estudia el problema de cómo actuar sobre un sistema dinámico para conseguir que éste presente un cierto comportamiento deseado. Una característica esencial del Control es la denominada *retroalimentación*, en virtud de la cual la propia evolución del sistema dinámico (salida del sistema) se utiliza para actuar sobre él a fin de conducirlo al estado deseado. Al igual que ocurre con la Teoría de Sistemas Dinámicos, el Control se puede aplicar a una enorme variedad de campos científicos, si bien este trabajo se desarrolla en el ámbito de la Teoría del Control aplicada a procesos químicos. En este contexto, el estudio de la Teoría del Control por parte del alumnado tiene como objetivo principal reajustar las condiciones de un proceso químico para reconducirlo gradualmente a un punto de equilibrio que previamente ha abandonado, en aras de evitar un empeoramiento de la producción química.

El estudio del Control de Procesos Químicos requiere que el alumnado desarrolle ciertas competencias para resolver problemas que involucran desarrollos matemáticos con un cierto grado de abstracción en dos planos: el plano algebraico y el plano algorítmico. Por un lado, en el plano algebraico el estudiante debe dominar el manejo de expresiones algebraicas tales como funciones de transferencia en el dominio de Laplace, en las que deberá identificar los polos y ceros utilizándolos para deducir la estabilidad y la causalidad de los sistemas. Por otro lado, en el plano algorítmico el estudiante debe profundizar en la esencia de los conceptos a fin de aplicar el Control a procesos químicos complejos usando algoritmos en detrimento de expresiones algebraicas que podrían llegar a ser inmanejables por su complejidad. Con el fin de abordar las mencionadas vertientes algebraica y algorítmica del Control, en este trabajo se plantea el desarrollo de software con paquetes de diseño asistido por ordenador (CAD) como estrategia metodológica para la mejora del proceso de enseñanza-aprendizaje en asignaturas de control de procesos químicos. En concreto, se desarrollarán paquetes CAD con la herramienta software CC (Comprehensive Control) en el plano algebraico y con la herramienta software *Matlab* (Matrix Laboratory) en el plano algorítmico, lo que permitirá analizar el efecto positivo de dicha metodología sobre la motivación y los resultados de la evaluación del alumnado.

La utilidad metodológica de la aplicación de herramientas software en la docencia del Control ha quedado reflejada en diversos trabajos de investigación. A modo de ejemplo, cabe mencionar que Casino, Patrighizzo y Vicino (2003) desarrollaron un laboratorio de control remoto que permitía a los estudiantes manejar y editar los parámetros de control a través de internet mediante una atractiva interfaz de usuario. Asimismo, cabe señalar que Albino Méndez, Lorenzo, Acosta, Torres & González (2006) desarrollaron una herramienta basada en applets de Java con el objetivo principal de abordar el análisis y la simulación del control de sistemas lineales. Más en la línea del Control de Procesos Químicos, Mendes, Marangoni, Meneguelo, Machado & Bolzan (2009) propusieron el uso de un simulador educacional para un proceso de destilación multicomponente con

control, demostrando su utilidad didáctica para favorecer la intuición científica y la motivación de los estudiantes. Aunque podríamos mencionar otros ejemplos de aplicaciones software en la docencia del Control, se puede afirmar que Matlab junto con su Toolbox de Control es una de las herramientas más extendidas en la Ingeniería del Control (Cavallo, Setola & Vasca, 1996). No obstante, a finales de la década de 1980 se desarrolló una herramienta software denominada Comprehensive Control (CC) que desde su aparición siempre ha gozado de gran popularidad debido a su simplicidad combinada con su gran eficiencia para abordar una amplia variedad de problemas de Control (Thomson, 1986).

El propósito del presente trabajo consiste en estudiar los efectos positivos sobre la motivación y los resultados de la evaluación del alumnado que se consiguen mediante el desarrollo de paquetes CAD con CC y Matlab en la asignatura de Control de Procesos del Grado en Ingeniería Química así como en la asignatura de Control e Instrumentación del Master en Ingeniería Química. Con este fin se presentan ejemplos concretos de la aplicación de dichos paquetes CAD en la docencia de las dos asignaturas mencionadas durante el curso académico 2014-2015. Por un lado, los paquetes CAD desarrollados con CC se plantean como una herramienta metodológica ideal para abordar la dimensión algebraica de la Teoría del Control aplicada a procesos químicos, lo cual viene reforzado por la similitud de la notación de CC con la notación algebraica usada en las clases de teoría. Por otro lado, los paquetes CAD desarrollados con Matlab constituyen una herramienta metodológica idónea para abordar la dimensión algorítmica del Control avanzado de procesos químicos reales, y a su vez permiten profundizar en los conceptos más complejos favoreciendo así el desarrollo de competencias profesionales en el/la estudiante. Como veremos posteriormente, el uso de estos paquetes CAD en la docencia de las asignaturas de Control de procesos químicos conlleva una mejora del proceso de enseñanza-aprendizaje en estas asignaturas, tal y como se desprende de los resultados de la evaluación obtenidos en las asignaturas del Grado y del Master en Ingeniería Química durante el curso 2014-2015.

2. METODOLOGÍA

2.1. Descripción del contexto y de los participantes

El presente trabajo se ha llevado a cabo en el contexto de las dos siguientes asignaturas impartidas durante el presente curso académico 2014-2015:

Control de Procesos (Código 34528): Materia obligatoria de 6 créditos ECTS impartida en el segundo cuatrimestre del tercer curso del *Grado en Ingeniería Química* de la Universidad de Alicante.

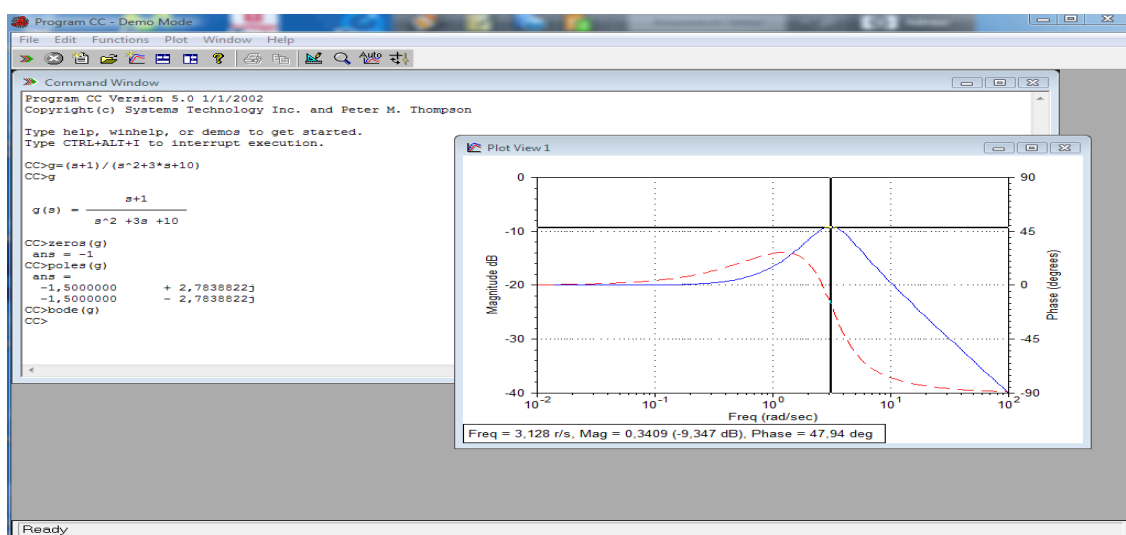
Control e Instrumentación (Código 43264): Materia obligatoria de 4.5 créditos ECTS impartida en el primer cuatrimestre del primer curso del *Máster Universitario en Ingeniería Química* de la Universidad de Alicante.

2.2. Materiales

Como apuntábamos en la introducción, en este trabajo se utilizan las herramientas software CC (Comprehensive Control) así como Matlab (Matrix Laboratory) a fin de desarrollar paquetes CAD orientados a la mejora docente de las asignaturas de Control de procesos químicos.

Por un lado, Comprehensive Control (CC) es una herramienta de control asistido por ordenador que fue desarrollada por Peter M. Thomson en 1986 en el seno de la empresa Systems Technology, Inc (STI) de California (Thomson, 1986). En sus orígenes CC se diseñó en BASIC compilado para que funcionara bajo MS-DOS utilizando tan sólo 640 Kb de memoria RAM. La herramienta CC maneja sistemas lineales tanto analógicos como digitales permitiendo su modelización mediante funciones de transferencia así como mediante espacios de estados. Esto último hace de CC una potente herramienta para manejar algebraicamente las bases matemáticas del Control en cualquier ámbito científico (Thomson, 1995), lo que en particular es de gran interés para la docencia en Control de Procesos. Una ventaja adicional de CC es que su interfaz de comandos utiliza una notación muy similar a la notación algebraica estándar de los apuntes de teoría, lo que facilita al alumnado el desarrollo de competencias como la capacidad de análisis, diseño, simulación y optimización de procesos químicos usando paquetes CAD. La figura 1 muestra un ejemplo de la interfaz de usuario de CC así como del cálculo de los ceros y polos de una función de transferencia junto con su representación gráfica en amplitud y fase. Este ejemplo pone de manifiesto la clara orientación de CC a comandos de naturaleza predominantemente algebraica.

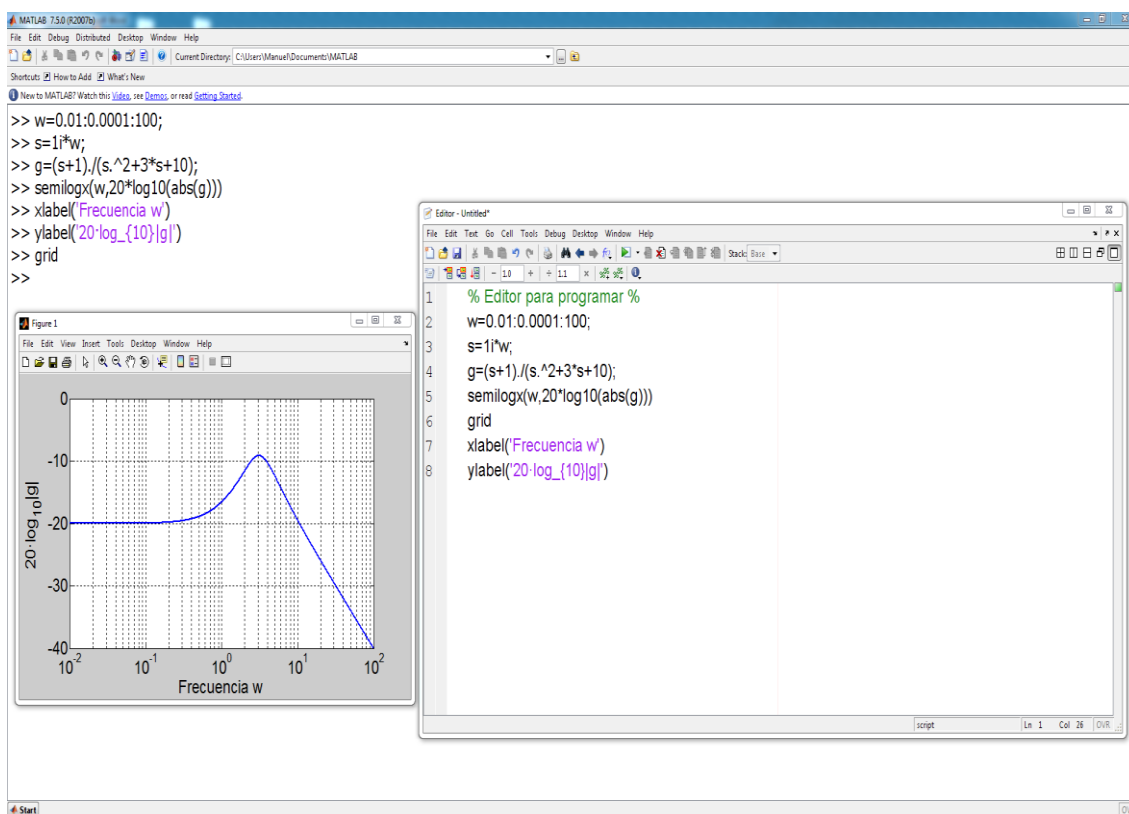
Figura 1. Ejemplo de la interfaz de usuario de CC junto con el cálculo de los polos y ceros de la función de transferencia $g(s) = \frac{s+1}{s^2+3s+10}$ y su representación en módulo y fase



Por otro lado, Matlab (Matrix Laboratory) es una herramienta de software matemático de propósito general que permite manejar matrices y algoritmos eficientemente así como incorporar interfaces de comunicación gráficas y con otros lenguajes (Palm III, 2010). A diferencia de CC, Matlab está diseñado para

abarcar cualquier aplicación matemática más allá del Control con especial énfasis en la implementación de algoritmos numéricos, cuya eficiencia se maximiza mediante el cálculo matricial. Asimismo, Matlab cuenta con unas herramientas propias de alto nivel denominadas *Toolboxes* que incorporan funcionalidades avanzadas de diversos ámbitos, entre los que se encuentran la Teoría del Control (Cavallo, Setola & Vasca, 1996). La herramienta Matlab presenta una interfaz atractiva e intuitiva que ofrece la posibilidad de combinar el trabajo en línea de comandos para implementar algoritmos sencillos con la programación de algoritmos más sofisticados con un cómodo editor de archivos, tal y como muestra la Figura 2. Asimismo, la sintaxis sencilla y accesible de Matlab junto con sus funcionalidades específicas de Control (Ogata, 2008) lo convierten en una herramienta ideal para que el estudiante de control de procesos químicos implemente algoritmos que contribuyen positivamente al aprendizaje.

Figura 2. Interfaz gráfica y editor de Matlab, con los que se ha implementado el ejemplo de la Figura 1



2.3. Instrumentos

Los instrumentos utilizados para llevar a cabo la presente investigación consisten en una serie de actividades en las asignaturas de control en ingeniería química que se resuelven mediante paquetes CAD en CC y Matlab desarrollados por el alumnado. Además, estos paquetes CAD se complementan con programas de Matlab previamente desarrollados que se han facilitado al alumnado con el fin de simplificar ciertos pasos en la programación, lo que permite consolidar un entorno de alto nivel atractivo y motivador para el alumnado. Las actividades de

desarrollo de paquetes CAD en CC y Matlab que se han aplicado se pueden clasificar en tres grandes bloques:

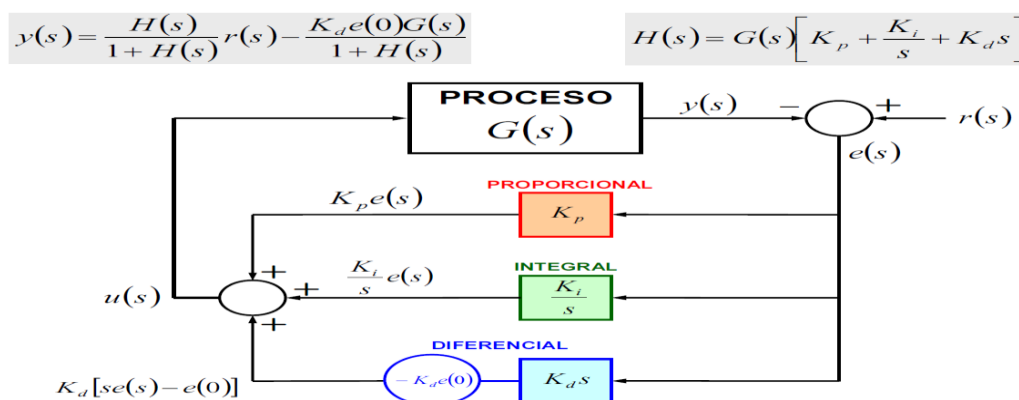
Ejercicios o problemas cortos que abordan la dimensión algebraica de la Teoría del Control aplicada a procesos químicos. En una primera etapa, estos ejercicios son resueltos manualmente por el alumnado sin ningún tipo de software. Posteriormente, los estudiantes desarrollan un paquete CAD en CC para resolver el ejercicio, comprobando así sus aciertos y errores en la resolución previa del mismo y mejorando las técnicas y destrezas en la resolución de problemas.

Ejercicios o problemas cortos que abordan la dimensión algorítmica de la Teoría del Control aplicada a procesos químicos. Como en el caso anterior, los estudiantes resuelven primero el ejercicio sin ayuda del ordenador para posteriormente desarrollar un paquete CAD en Matlab en el que implementan paso a paso el algoritmo requerido para resolver el problema. Estos ejercicios no solamente le permiten al alumnado una autoevaluación de su aprendizaje, sino que también son muy apropiados para que el estudiante profundice en la esencia de los conceptos y llegue incluso a abstraerlos del lenguaje de programación.

Proyectos extensos que los estudiantes desarrollan de forma continua a lo largo del curso y que resuelven utilizando todas las herramientas disponibles, incluyendo el desarrollo de paquetes CAD en CC y principalmente en Matlab.

Un ejemplo práctico de ejercicio corto orientado a la dimensión algebraica es el diseño y simulación de un regulador PID cuyo esquema se muestra en la Figura 3.

Figura 3. Diseño algebraico de un regulador PID en el dominio de Laplace



En el ejemplo de la figura 3, los/as alumnos/as deben en primer lugar realizar en papel el desarrollo algebraico completo que conduce a las ecuaciones marcadas en fondo gris. Posteriormente, el problema se particulariza para un proceso $G(s) = (1 + s)^{-1}$, una señal de referencia $r(s) = s^{-1}$ y una serie de valores para las constantes K_p , K_i y K_d del regulador PID. Es entonces cuando los estudiantes vuelven a resolver el problema pero esta vez desarrollando el software en CC que se muestra en la Figura 4.

Figura 4. Desarrollo en CC para implementar el controlador PID de la Figura 3

```
CC>Kp=-2; Ki=6; Kd=8; % Parámetros del regulador PID (inestable) %
CC>r=1/s % Señal de referencia (escalón unitario) %
CC>G=1/(1+s) % Función de transferencia del proceso %
CC>H=(Kp+Ki/s+Kd*s)*G
CC>y=(H*r)/(1+H)-(Kd*G)/(1+H)
CC>y
```

$$y(s) = \frac{-2s+6}{s(9s^2 - s + 6)}$$

```
CC>zeros(y)
ans = 3
CC>poles(y)
ans =
    0 + 0j
    0,0555556 + 0,8146043j
    0,0555556 - 0,8146043j
```

```
CC>Kp=2; Ki=6; Kd=8; % Parámetros del regulador PID (estable) %
CC>r=1/s % Señal de referencia (escalón unitario) %
CC>G=1/(1+s) % Función de transferencia del proceso %
CC>H=(Kp+Ki/s+Kd*s)*G
CC>y=(H*r)/(1+H)-(Kd*G)/(1+H)
CC>y
```

$$y(s) = \frac{2s+6}{s(9s^2 + 3s + 6)}$$

```
CC>zeros(y)
ans = -3
CC>poles(y)
ans =
    0 + 0j
   -0,1666667 + 0,7993053j
   -0,1666667 - 0,7993053j
```

```
CC>Kp=0.6; Ki=2.4; Kd=0.0375; % Parámetros del PID (Ziegler-Nichols) %
CC>r=1/s % Señal de referencia (escalón unitario) %
CC>G=1/(1+s) % Función de transferencia del proceso %
CC>H=(Kp+Ki/s+Kd*s)*G
CC>y=(H*r)/(1+H)-(Kd*G)/(1+H)
CC>y
```

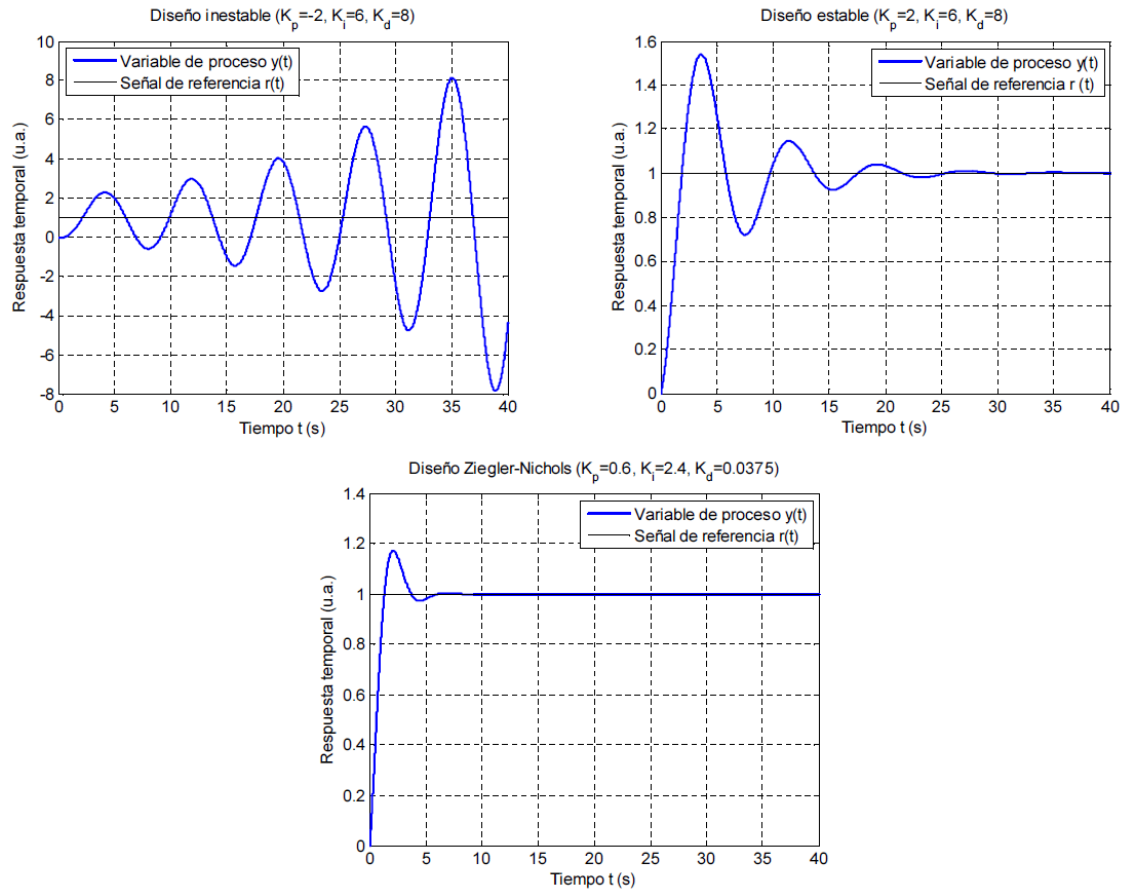
$$y(s) = \frac{0,6s+2,4}{s(1,038s^2 + 1,6s + 2,4)}$$

```
CC>zeros(y)
ans = -4
CC>poles(y)
ans =
    0 + 0j
   -0,7710843 + 1,3109851j
   -0,7710843 - 1,3109851j
CC>
```

Una vez obtenidos los resultados de la figura 4, el/la estudiante debe identificar un comportamiento inestable en el primer ejemplo en base a la parte real positiva de dos polos que no se cancelan con ningún cero. Asimismo, el estudiante debe identificar un comportamiento estable en los otros dos casos debido a la parte real negativa de los polos, con una mayor estabilidad en el caso del diseño de los parámetros mediante la regla de Ziegler-Nichols en el tercer caso. Con el fin de corroborar estos resultados, a los/as estudiantes se le facilitan unas funciones auxiliares en Matlab que permiten la representación gráfica de la respuesta temporal del sistema $y(t)$. De este modo, al introducir los parámetros indicados en la figura 4 se obtienen los resultados que se indican en la figura 5, los cuales corroboran los resultados de estabilidad e inestabilidad antes predichos por

el alumnado. Dicha corroboración facilita la consolidación del aprendizaje de los conceptos involucrados así como la motivación del alumnado al comprobar la corrección de sus predicciones.

Figura 5. Respuestas temporales del PID de la figura 3 con los parámetros de la Figura 4

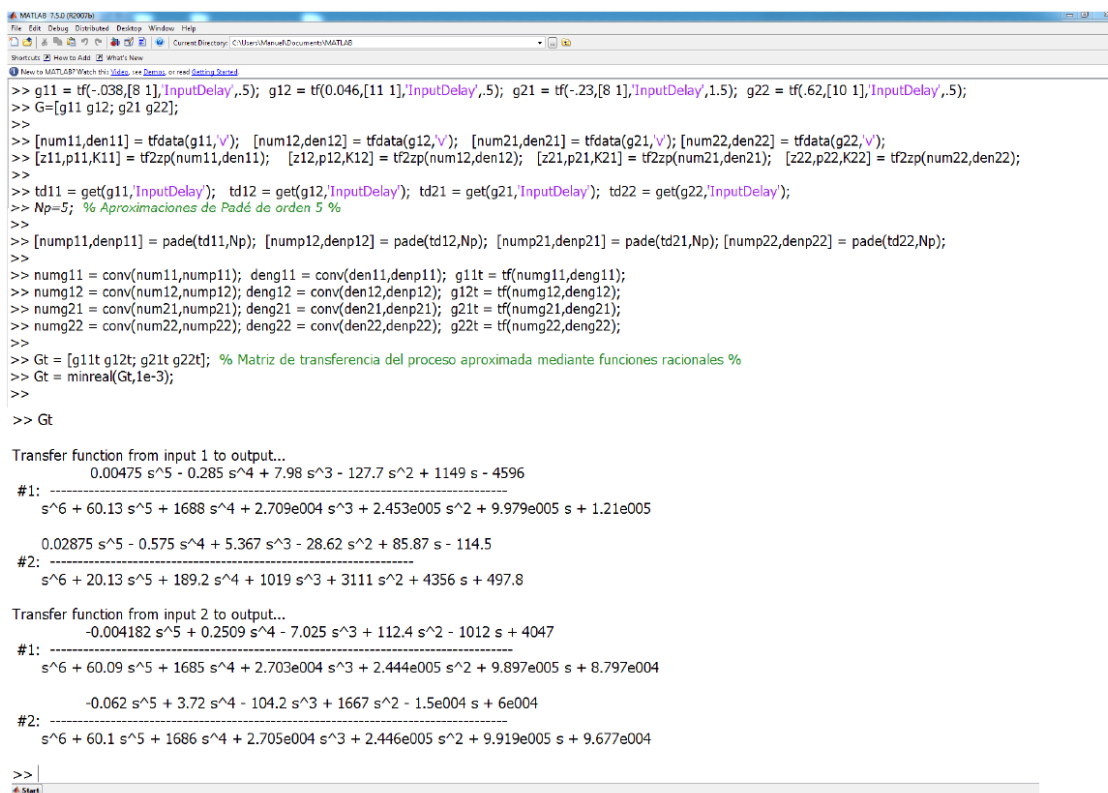


Por otro lado, como ejemplo práctico de ejercicio corto orientado a la dimensión algorítmica del control se ha planteado determinar la aproximación

racional de la matriz de transferencia $G(s) = \begin{bmatrix} \frac{-0.038e^{-0.5s}}{8s+1} & \frac{0.046e^{-0.5s}}{11s+1} \\ \frac{-0.23e^{-1.5s}}{8s+1} & \frac{0.62e^{-0.5s}}{10s+1} \end{bmatrix}$ utilizando

aproximaciones de Padé de orden $N_p = 5$. En este caso, la figura 6 muestra el algoritmo con la secuencia completa de pasos que los/as alumnos/as deben implementar en Matlab.

Figura 6. Algoritmo implementado en Matlab para determinar la aproximación racional de una matriz de transferencia utilizando aproximaciones de Padé de orden $N_p = 5$



```

MATLAB T5.0 (R2015b)
File Edit Debug Distributed Desktop Window Help
Current Directory: C:\Users\Manuel\Documents\MATLAB
Shortcuts: How to Add What's New
New to MATLAB? Watch this Video, see Demos, or read Getting Started.

>> g11 = tf(-.038,[8 1],'InputDelay',.5); g12 = tf(0.046,[11 1],'InputDelay',.5); g21 = tf(-.23,[8 1],'InputDelay',1.5); g22 = tf(.62,[10 1],'InputDelay',.5);
>> G=[g11 g12; g21 g22];
>>
>> [num11,den11] = tfdata(g11,'v'); [num12,den12] = tfdata(g12,'v'); [num21,den21] = tfdata(g21,'v'); [num22,den22] = tfdata(g22,'v');
>> [z11,p11,K11] = tf2zp(num11,den11); [z12,p12,K12] = tf2zp(num12,den12); [z21,p21,K21] = tf2zp(num21,den21); [z22,p22,K22] = tf2zp(num22,den22);
>> td11 = get(g11,'InputDelay'); td12 = get(g12,'InputDelay'); td21 = get(g21,'InputDelay'); td22 = get(g22,'InputDelay');
>> Np=5; % Aproximaciones de Padé de orden 5 %
>>
>> [nump11,denp11] = pade(td11,Np); [nump12,denp12] = pade(td12,Np); [nump21,denp21] = pade(td21,Np); [nump22,denp22] = pade(td22,Np);
>>
>> numg11 = conv(num11,nump11); deng11 = conv(den11,denp11); g11t = tf(numg11,deng11);
>> numg12 = conv(num12,nump12); deng12 = conv(den12,denp12); g12t = tf(numg12,deng12);
>> numg21 = conv(num21,nump21); deng21 = conv(den21,denp21); g21t = tf(numg21,deng21);
>> numg22 = conv(num22,nump22); deng22 = conv(den22,denp22); g22t = tf(numg22,deng22);
>>
>> Gt = [g11t g12t; g21t g22t]; % Matriz de transferencia del proceso aproximada mediante funciones racionales %
>> Gt = minreal(Gt,1e-3);
>>
>> Gt

Transfer function from input 1 to output...
0.00475 s^5 - 0.285 s^4 + 7.98 s^3 - 127.7 s^2 + 1149 s - 4596
#1: -----
s^6 + 60.13 s^5 + 1688 s^4 + 2.709e004 s^3 + 2.453e005 s^2 + 9.979e005 s + 1.21e005
0.02875 s^5 - 0.575 s^4 + 5.367 s^3 - 28.62 s^2 + 85.87 s - 114.5
#2: -----
s^6 + 20.13 s^5 + 189.2 s^4 + 1019 s^3 + 3111 s^2 + 4356 s + 497.8

Transfer function from input 2 to output...
-0.004182 s^5 + 0.2509 s^4 - 7.025 s^3 + 112.4 s^2 - 1012 s + 4047
#1: -----
s^6 + 60.09 s^5 + 1685 s^4 + 2.703e004 s^3 + 2.444e005 s^2 + 9.897e005 s + 8.797e004
-0.062 s^5 + 3.72 s^4 - 104.2 s^3 + 1667 s^2 - 1.5e004 s + 6e004
#2: -----
s^6 + 60.1 s^5 + 1686 s^4 + 2.705e004 s^3 + 2.446e005 s^2 + 9.919e005 s + 9.677e004

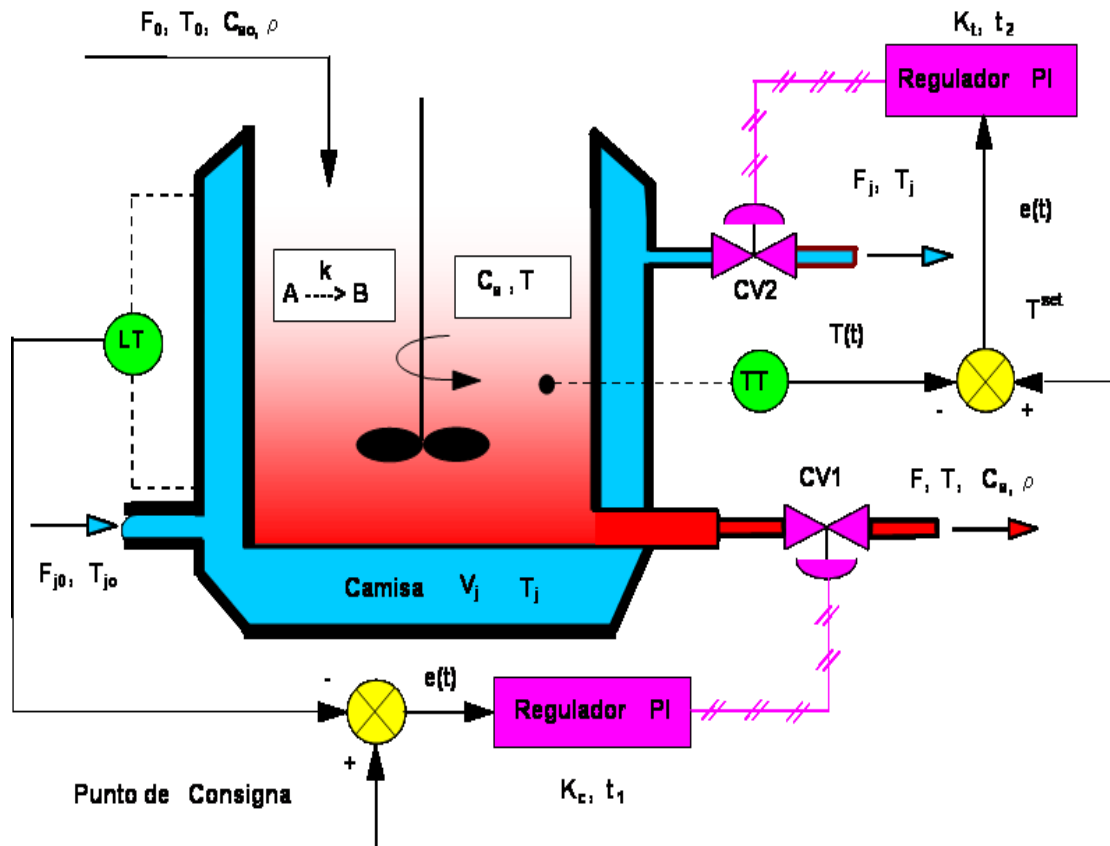
>>
Start

```

La principal ventaja metodológica del ejercicio mostrado en la figura 6 radica en que el estudiante detalla cada paso subdividiéndolo en varios pasos muy sencillos que le permiten profundizar en los conceptos matemáticos del control aplicado a procesos químicos. Además, este tipo de ejercicios permiten relacionar conceptos incluso de otras asignaturas, recordando así por ejemplo que dos polinomios se pueden multiplicar convolucionando sus coeficientes y usando para ello el comando “conv” de Matlab.

Como ejemplo de proyecto extenso a realizar durante el cuatrimestre, la figura 7 muestra un esquema de un Reactor Continuo de Tanque Agitado (RCTA) refrigerado por camisa con reacción exotérmica de primer orden $A \rightarrow B$. En este caso, se pide analizar el comportamiento del sistema sin control y con control formado por reguladores PI y PID, que se diseñarán utilizando las técnicas adecuadas en cada caso. Todo ello se realizará utilizando en profundidad Matlab en su vertiente algorítmica y sintetizando todos los aprendizajes que se van adquiriendo a lo largo del curso.

Figura 7. Esquema de un RCTA refrigerado por camisa con reacción exotérmica de primer orden $A \rightarrow B$, cuyo comportamiento se ha de analizar sin control y con control



El proyecto sintetizado en el esquema de la figura 7 pretende poner en juego todas las habilidades y competencias cognitivas y procedimentales del alumnado englobando todos los contenidos de la asignatura. Por este motivo, esta actividad se diseña para su realización gradual y continua a lo largo del cuatrimestre, buscando así también una motivación creciente del alumnado a medida que evoluciona su aprendizaje a lo largo del curso.

2.4. Procedimientos

Con el fin de implementar el diseño de paquetes CAD en CC y Matlab como herramienta metodológica, en la práctica docente de las asignaturas de control de procesos químicos se han realizado actividades y ejercicios como los detallados en el apartado anterior mediante diversos procedimientos en cada una de las dos asignaturas objeto de estudio de este trabajo.

Por un lado, en la asignatura de Control de Procesos del Grado en Ingeniería Química se han planteado diversos ejercicios cortos de naturaleza algebraica como el descrito en la figura 3, que el alumnado ha resuelto tanto interactivamente en el aula como individualmente en casa. En este sentido, al alumnado se le ha proporcionado una versión gratuita de CC y se ha dedicado un apartado del tema de Bases Matemáticas del Control de Procesos para describir CC en clase. Asimismo, en la asignatura de Control de Procesos se ha planteado un proyecto

extenso como el descrito en la Figura 7. Este proyecto ha sido proporcionado al alumnado al principio del cuatrimestre a fin de que los/as alumnos/as vayan avanzando en su realización a medida que van ampliando sus conocimientos bajo la supervisión tutorizada del profesor. Este proyecto finaliza al acabar el cuatrimestre y su ponderación en la evaluación es del 50 % de la calificación final de la asignatura, constituyendo así el correspondiente bloque de evaluación continua. El resto de la evaluación corresponde al examen final, que abarca el 50 % restante de la calificación.

Por otro lado, en la asignatura de Control e Instrumentación del Master en Ingeniería Química se han planteado a lo largo del cuatrimestre cuatro trabajos que agrupan diversos ejercicios de naturaleza algorítmica en Matlab como los descritos en la Figura 6. Cada uno de estos cuatro trabajos se ha evaluado con una ponderación del 12.5 % de la calificación final de la asignatura, constituyendo así todos ellos el 50 % del bloque de la evaluación continua. El resto de la evaluación corresponde al examen final, que abarca el 50 % restante de la calificación.

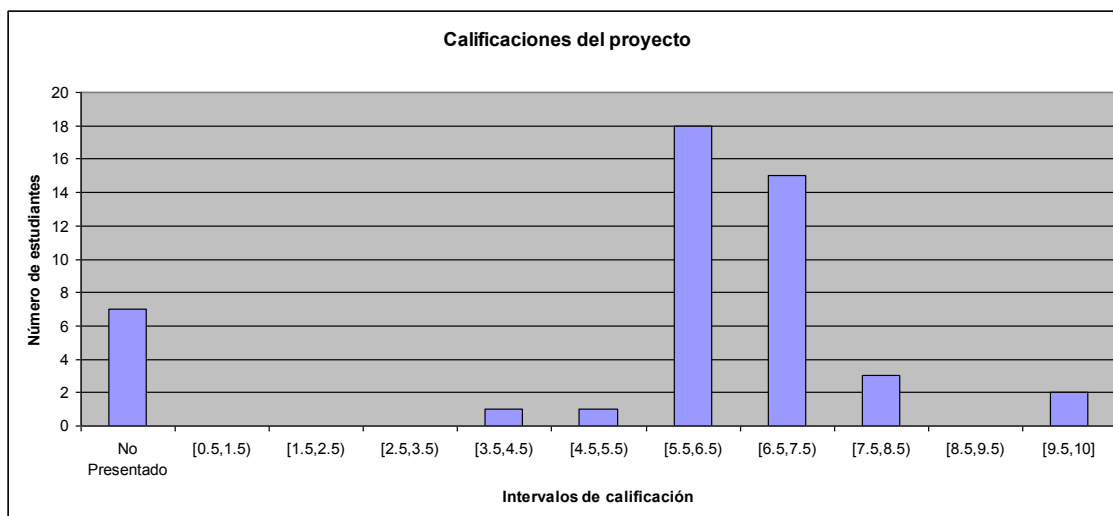
Un aspecto común importante de los procedimientos seguidos en las dos asignaturas consideradas radica en la utilización de la tutoría por parte de los estudiantes. Por un lado, la tutoría ha permitido que muchos estudiantes hayan podido mantener un ritmo de trabajo adecuado a lo largo del curso resolviendo diversas dudas sobre el desarrollo de paquetes CAD en CC y sobre todo en Matlab. Por otro lado, la tutoría ha permitido llevar a cabo un seguimiento del proceso de enseñanza-aprendizaje que en última instancia ha permitido emprender diversas acciones de mejora a lo largo del curso a la vista de la evolución del alumnado. Y finalmente, la tutoría ha permitido también valorar el grado de motivación del alumnado en relación al uso de paquetes CAD en CC y Matlab así como mejorar dicha motivación mediante un conveniente diseño de las actividades en su dimensión gráfica y estética.

3. RESULTADOS

Con el fin de analizar el efecto positivo del desarrollo de paquetes CAD en CC y Matlab sobre la motivación y la evaluación del alumnado, en esta sección se presentan los resultados de la evaluación correspondientes a las asignaturas de Control de Procesos y Control e Instrumentación correspondientes al curso académico 2014-2015.

En el caso de la asignatura de Control de Procesos, la figura 8 muestra las calificaciones obtenidas en el proyecto planteado en el esquema de la figura 7, las cuales vienen categorizadas en intervalos de un punto de 0 a 10 considerando además la situación especial de “No Presentado” como la única en la que la calificación fue nula. Se puede observar que sólo hubo una calificación inferior a 5 aparte de los estudiantes sin calificación que no presentaron el trabajo, y además la mayor parte de las calificaciones fue igual o superior a 6.5. Estos resultados ponen de manifiesto el efecto positivo del desarrollo de paquetes CAD en CC y Matlab sobre el proceso de enseñanza-aprendizaje de la asignatura.

Figura 8. Frecuencia absoluta de las calificaciones obtenidas en el proyecto de la asignatura de Control de Procesos del Grado en Ingeniería Química durante el curso 2014-2015



Siguiendo con los resultados de la evaluación en la asignatura de Control de Procesos, la figura 9 muestra el peso relativo de las calificaciones obtenidas en el proyecto y en el examen final para los estudiantes que se presentaron a la convocatoria de Junio, lo que permite observar que la calificación del proyecto tuvo un mayor peso relativo que la calificación del examen. Este hecho pone de manifiesto que la utilización y desarrollo de paquetes CAD dio lugar a una motivación adicional del alumnado para la realización del proyecto de forma continuada a lo largo del curso con unos buenos resultados que superaron las expectativas de los resultados obtenidos en el examen.

Figura 9. Peso relativo de las calificaciones del proyecto y del examen para alumnos/as presentados/as a la asignatura de Control de Procesos en el curso 2014-2015

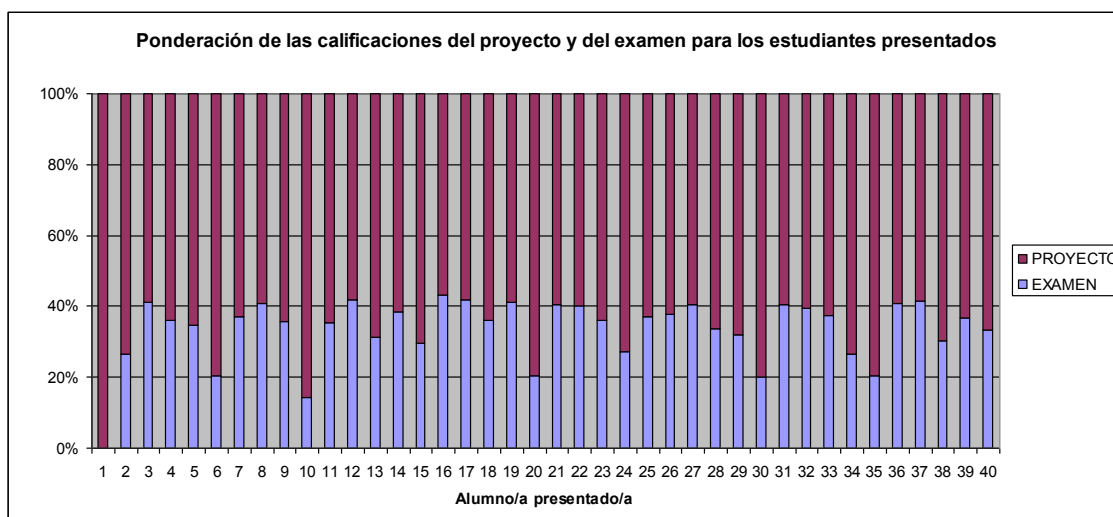
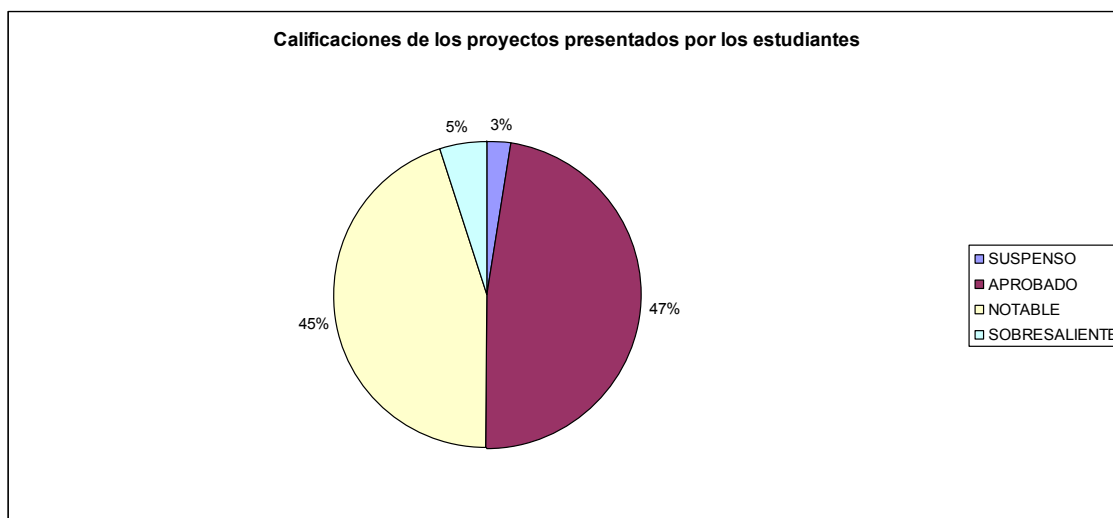


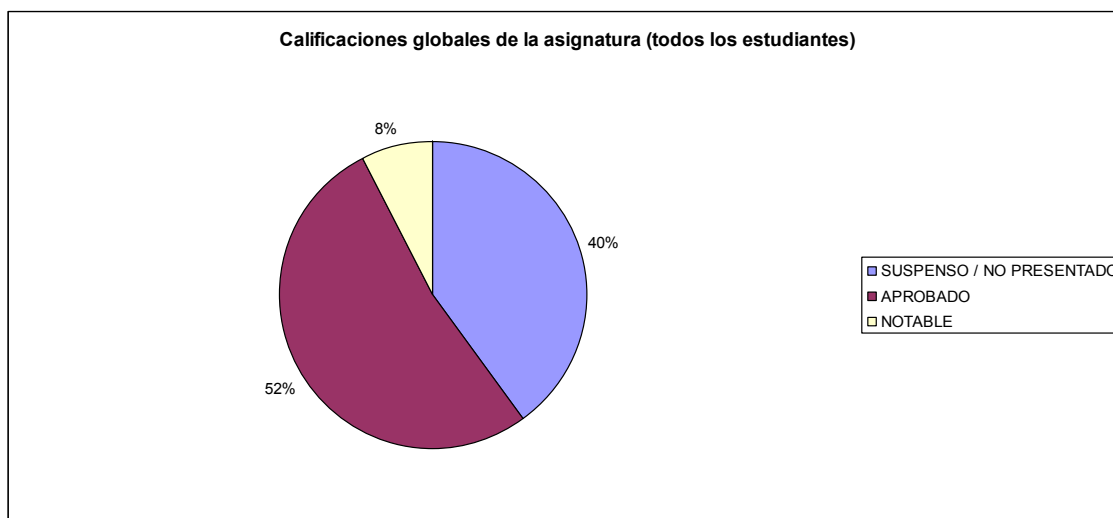
Figura 10. Calificaciones del proyecto en la asignatura de Control de Procesos del Grado en Ingeniería Química para los/as estudiantes presentados/as durante el curso 2014-2015



En línea con los datos presentados anteriormente, la figura 10 muestra las calificaciones del proyecto de la asignatura de Control de Procesos con una categorización de suspenso, aprobado, notable y sobresaliente excluyendo así los casos de estudiantes que no lo presentaron. Cabe señalar que sólo hay un 3 % de suspensos y que el porcentaje de notables (45 %) es muy similar al de aprobados (47 %), lo que nuevamente evidencia una motivación del alumnado para realizar satisfactoriamente el proyecto de la asignatura sirviéndose de los recursos que proporcionan los paquetes CAD.

La figura 11 muestra los resultados globales de la evaluación en la asignatura de Control de Procesos con la misma categorización de calificaciones que en la Figura 10. Al comparar los resultados de las figuras 10 y 11, se puede observar que el 40 % de suspensos corresponden a casos en los que la calificación del examen no pudo ser compensada por la del proyecto al no ser esta última lo suficientemente alta. No obstante, los datos de las figuras 10 y 11 ponen de manifiesto que la realización del proyecto utilizando y desarrollando paquetes CAD en Matlab también jugó un papel fundamental en la mejora de los resultados de la evaluación del alumnado frente a las que se habrían obtenido utilizando otras metodologías.

Figura 11. Calificaciones globales de todos los estudiantes de la asignatura de Control de Procesos del Grado en Ingeniería Química durante el curso 2014-2015



Finalmente, cabe señalar que en la asignatura de Control e Instrumentación del Master en Ingeniería Química los resultados fueron muy satisfactorios. Por un lado, sobre cuatro estudiantes matriculados los resultados de la evaluación fueron cuatro sobresalientes con una nota de 9 en cada uno de ellos. Por otro lado, la utilización de paquetes CAD en CC y Matlab también despertó la motivación del alumnado, de forma mucho más notable que con otras metodologías más orientadas a la clase teórica tradicional.

4. CONCLUSIONES

A la vista de los resultados mostrados en las figuras 8, 9, 10 y 11 podemos afirmar que el desarrollo de paquetes CAD en CC y Matlab en la asignatura de Control de Procesos ha favorecido dos aspectos fundamentales en el alumnado: la motivación y los resultados de la evaluación. Por un lado, la motivación del alumnado se ha materializado en unos resultados satisfactorios en la realización del proyecto haciendo uso de dichos paquetes CAD. Esta realización satisfactoria del proyecto pone de relieve que el alumnado trabajó de forma continuada a lo largo del cuatrimestre desarrollando competencias procedimentales para extraer el máximo provecho de herramientas software como Matlab, sin las cuales habría sido inviable llevar a término el proyecto. A su vez, cabe esperar que estas destrezas adquiridas para el manejo de paquetes CAD jueguen un papel relevante a la hora de abordar problemas de control de procesos químicos en el ámbito profesional, tal y como se ha podido comprobar en algunos casos con algunos estudiantes egresados de cursos anteriores. Por otro lado, la realización satisfactoria del proyecto ha redundado en unas buenas calificaciones que sin duda han influido positivamente en los resultados de la evaluación final.

En el caso de la asignatura de Control e Instrumentación, la evaluación continua mediante actividades que se resuelven a través de paquetes CAD también ha jugado un papel muy relevante de cara a la motivación del alumnado, que en

este caso se ha manifestado con calificaciones de sobresaliente en la totalidad de los cuatro estudiantes matriculados.

Como conclusión final, las consideraciones anteriores permiten inferir que el desarrollo de paquetes CAD en CC y Matlab así como su uso en las asignaturas de Control de Procesos y Control e Instrumentación a lo largo del curso ha favorecido la motivación y los resultados de la evaluación del alumnado.

5. DIFICULTADES ENCONTRADAS

La principal dificultad que se ha encontrado durante la implementación del presente proyecto ha radicado en la adecuación gráfica y estética de los desarrollos de paquetes CAD. Esta adecuación resulta de gran importancia a fin de evitar que el alumnado pueda percibir erróneamente una dificultad añadida ante la aparente falta de información gráfica o de ayuda en los programas. Por este motivo, en todas las actividades se ha procurado acompañar los resultados algebraicos y códigos de programación en CC y Matlab con figuras y esquemas como los de las figuras 3 y 7, los cuales facilitan la comprensión y eliminan barreras en los/as alumnos/as a la hora de trabajar con dichas herramientas software.

6. PROPUESTAS DE MEJORA

En línea con la adecuación gráfica y estética del software planteada en la sección anterior, se ha considerado que una posible mejora consistiría en dedicar una pequeña parte del tiempo a que los/as alumnos/as pudieran voluntariamente iniciarse en la programación de interfaces gráficas de usuario (GUI) de Matlab aplicadas a los paquetes CAD considerados en este trabajo. Aunque no se trataría de una actividad obligatoria, en caso de haber estudiantes interesados se podría contribuir aún más a la motivación del alumnado ante interfaces gráficas interactivas muy atractivas que mantendrían la misma potencia algorítmica y matricial de Matlab.

7. PREVISIÓN DE CONTINUIDAD

Se ha considerado positivamente la posibilidad de continuidad de esta investigación en convocatorias posteriores, si bien antes de continuar con este trabajo se ha considerado conveniente realizar un estudio previo para mejorar el uso de paquetes CAD mediante interfaces GUI de Matlab. En función de los resultados que arrojen dicho estudio se planteará la continuación de la investigación.

8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Albino Méndez, J., Lorenzo, C., Acosta, L., Torres, S. & González, E. (2006). A Web-Based Tool for Control Engineering Teaching. *Computer Educations in Engineering Education*, volumen (14), pp. 178-187.
- Casini, M., Prattichizzo, D. & Vicino A. (2003). The Automatic Control Telelab: A User-Friendly Interface for Distance Learning. *IEEE Transactions on Education*, volumen (46), pp. 252-257.
- Cavallo, A., Setola R. & Vasca F. (1996). Using Matlab, Simulink and Control System Tool Box: A Practical Approach. Londres: Prentice Hall.
- Mendes, D., Marangoni C., Meneguelo, A. P., Machado R. A. F. & Bolzan, A. (2009). Educational Simulator for Multicomponent Distillation Research and Teaching in Chemical Engineering. *Computer Educations in Engineering Education*, volumen (18), pp. 175-182.
- Ogata, K. (2008), *Matlab for Control Engineers*. New Jersey: Pearson/Prentice Hall Upper Saddle River.
- Palm III, W. J. (2010). *Introduction to MATLAB for Engineers*. Londres: McGraw Hill Higher Education.
- Thomson, P. M (1990). Program CC's Implementation of the Human Optimal Control Model. Recuperado de <http://www.dtic.mil/dtic/tr/fulltext/u2/a218562.pdf>
- Thomson, P. M. (1995). *Program CC: Introductory Version*. Saunders College Publishing.